

Carla Simone Ramos Ferro

**Mapeamento Geológico e Análise Hidrogeoquímica na Bacia
do Ribeirão Santana entre os municípios de Valença (RJ) e Rio
Preto (MG).**

Trabalho de Conclusão de Curso

UFRJ

Rio de Janeiro

2009

(Bacharelado em Geologia)

UFRJ

Rio de Janeiro

2009



UFRJ

Carla Simone Ramos Ferro

**Mapeamento Geológico e Análise Hidrogeoquímica na Bacia
do Ribeirão Santana entre os municípios de Valença (RJ) e Rio
Preto (MG).**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Rio de Janeiro
Dezembro, 2009.



UFRJ

Orientador:

Prof. Dr. André de Souza Avelar

(Departamento de Geografia/UFRJ)

Rio de Janeiro
Dezembro, 2009.

CARLA SIMONE, Ramos Ferro

Mapeamento Geológico e Análise Hidrogeoquímica na Bacia do Ribeirão Santana entre os municípios de Valença (RJ) e Rio Preto (MG)/ Carla Simone Ramos Ferro - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009., 27 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: André de Souza Avelar

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. ANDRÉ, Souza Avelar. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Carla Simone Ramos Ferro

**Mapeamento Geológico e Análise Hidrogeoquímica na Bacia
do Ribeirão Santana entre os municípios de Valença (RJ) e Rio
Preto (MG).**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. André de Souza Avelar

(Departamento de Geografia/UFRJ)

Aprovada em: ____/____/2009.

Por:

UFRJ

Rio de Janeiro

2009

Prof. Dr. André de Souza Avelar (UFRJ)

Prof. Dr. Julio César Mendes (UFRJ)

Geólogo Rodrigo Vinagre Cintra da Costa (UFRJ)

UFRJ

Rio de Janeiro

2009

Aos meus pais Luiz (*in memoriam*) e Solange,
meu irmão Rafael pelo amor e dedicação.

Agradecimentos

As idéias e conclusões expostas neste trabalho não seriam possíveis sem o esforço e dedicação dos professores André Avelar e Ana Luiza Coelho Netto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Agradeço ao geólogo Murillo Torres pela dedicação nas análises químicas da água e ao professor Leonardo Borghi do Lab. de Sedimentologia (UFRJ). Agradeço ainda aos técnicos de laboratório Tarciso e Roberto do Departamento de Geologia da UFRJ.

Também agradeço todos que de alguma forma ajudaram para a realização deste trabalho, aos colegas do laboratório, que trabalharam em conjunto no projeto sobre carste no quartzitos, Rogério Uagoda, Renan Fernandes, Thiago Monico, Glauco Eger, Fabiana Franco e a todos da equipe do laboratório GEOHECO/ UFRJ, a cidade de Rio Preto - MG que acolheu a todos que participaram deste trabalho, aos meus amigos de turma e o amigo Daniel Bastos.

Resumo

FERRO, Carla Simone. **Mapeamento Geológico e Análise Hidrogeoquímica na Bacia do Ribeirão Santana entre os municípios de Valença (RJ) e Rio Preto (MG).** 2009, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A pesquisa foi desenvolvida na bacia do Ribeirão Santana (286 km²), que é tributário do rio Preto, médio vale do rio Paraíba do Sul. O objetivo da pesquisa é o mapeamento geológico de área cárstica quartzítica e a coleta de dados para análise estrutural, mineralógica e estratigráfica para o entendimento do papel geológico nos processos de dissolução química da evolução geomorfológica da bacia.

O mapeamento geológico foi realizado na escala 1:10.000, com identificação das litologias em campo e através de lâminas petrográficas, reconhecendo-se três tipos litológicos: a) biotita-gnaiss, b) quartzito impuro e c) quartzito puro. Estas rochas estão dispostas em dobras com superfície axial sub-vertical e eixos sub-horizontais com caimento para W e E, onde observa-se intensa participação de processos químicos atuantes na denudação e geração de formas cárstica.

Com base no mapa geológico foram confeccionados perfis geológicos NW–SE, seções A-B e C-D na escala 1: 10.000, estereogramas de foliação e rosetas de fraturas. Foi realizado o levantamento de famílias de fraturas e a confecção de rosetas e tratamentos estatísticos, através de “Circle Inventory Method” (Davis, 1984). Amostras de água foram coletadas nos diferentes tipos litológicos da bacia, nas posições de calhas de rios, concavidades suspensas, sumidouros e fundos de cavernas em diferentes períodos do ano, com objetivo de cruzar os dados resultantes com o balanço hidrológico da bacia e para realizar uma varredura geoquímica nesta área de carste em quartzito.

Palavras-chave: mapeamento geológico; estrutural; mineralogia

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VII
SUMÁRIO	XIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
I. INTRODUÇÃO	11
I1. Feições Geomorfológicas	14
II. OBJETIVO E AREA DE ESTUDO	18
III. GEOLOGIA REGIONAL	20
IV. MÉTODO E MATERIAL UTILIZADOS	21
V. RESULTADOS E ANÁLISES	24
V.1 Mapeamento Geológico	24
V.1.1 Elaboração de Perfis	25
V.1.2 Unidades de Mapeamento	27
V.1.3 Análises Petrográfica	28
V. 2 Geologia Estrutural	31
V. 2.1 Análises estruturais: Estereogramas e Diagramas de Roseta	32
V.3 Análise Hidrogeoquímica	35
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Feições de dissolução A- lapiés, B -formação de dutos; C e D - Clarabóia formada em área de recarga.....	14
Figura 02: Feições de dissolução dolinas em destaque de vermelho.....	15
Figura 03: Feições de dissolução: sumidouros ativos na região.....	15
Figura 04: Feições de dissolução : A e B – formação de dutos; C e D – formação de colunas gerada por abrasão generalizada das paredes do quartzito.....	16
Figura 05: Feições de dissolução : Cavernas formadas devido à dissolução ao longo da foliação.....	16
Figura 06: Mapa hipsiométrico da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, demonstrando em amarelo a localização da Bacia do Ribeirão Santana.....	18
Figura 07: Mapa Geológico da bacia hidrografica do Ribeirao Santana, na escala 1:100.000. O retângulo destaca a área de mapeamento. COMIG & CPRM.....	19
Figura 08: Mapa hipsiometrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, na escala 1:100.000. O retângulo destaca a área de mapeamento UAGODA et al (2006).....	19
Figura 09: coleta de medições das fraturas e suas quantidades e comprimentos.....	22
Figura 10: mapa geológico e seções geológicas, na escala 1:10.000.....	24
Figura 11: Perfis Geológicos nas seções A- A' e B-B' com direção NW/SE, na escala 1:10.000.....	25
Figura12: Foto das entradas das cavernas na bacia do Ribeirão Preto em rochas quartzito.....	26
Figura 13: quartzito (impuro) com foliação bem marcada e feições de dissolução ao longo da foliação formando dutos e micoespeleotemas.....	27
Figura 14: feições de dissolução em amostras de quartzito (puro).....	28
Figura 15: Lâmina petrográfica do biotita gnaiss.....	29

Figura 16: Lâmina petrográfica do quartzito impuro.....	30
Figura 17: A- dobra antiformal bem suave, em quartzito puro; B- dobra apertada em quartzito puro.....	31
Figura 18: fraturas sub-verticais no quartzito puro.....	32
Figura 19: Estereograma de Fratura.....	33
Figura 20: Estereograma de Foliação.....	33
Figura 21: Diagramas de Roseta de fraturas para cada litologia.....	34
Figura 22: Gráficos de dados obtidos em dois períodos hidrológicos do ano: verão e inverno.	37

LISTA DE TABELA

Tabela 01: pontos de localização da coleta de água para análise química mensuradas em campo parâmetros físico-químicos; como pH, STD e condutividade elétrica entre outros para cada litologia.....	23
Tabela 02: Tabela com resultado dos calculos de densidade pelo comprimento (Dc) e densidade pelo número de fraturas.....	33

I – INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido durante três anos, vinculado as pesquisas sistemáticas recentemente desenvolvidas pelo Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO), na vertente da Serra da Mantiqueira, no médio vale do Rio Paraíba do Sul, que comprovam a existência de feições tipicamente cársticas sob rochas quartzíticas, indicando a ocorrência de processos de denudação química e uma nítida influencia do controle lito-estrutural na bacia hidrográfica do ribeirão Santana.

A pesquisa consistiu basicamente no mapeamento geológico, análise estrutural e análise estratigráfica das litologias presentes na região do vale do rio Preto entre os municípios de Valença (RJ) e Rio Preto (MG) e vem sendo intensamente estudado no ponto de vista geológico, em virtude da evolução geomorfológica do sistema carstico e características geológicas interessantes na região.

A bacia do Ribeirão Santana, insere-se no Planalto Sudeste Brasileiro, na porção central da Faixa Ribeira, ao sul do cráton do São Francisco. Compreende quatro compartimentos tectônicos com orientação dominante NE-SW, descritos por HEILBRON (1995). O ciclo orogênico Brasileiro (Neo-Proterozóico e Cambrio – Ordoviciano) é marcado por forças compressivas e dúcteis responsáveis pela formação do cinturão móvel; dois ciclos marcados por forças extensivas e rúpteis, relacionados à abertura Atlântica das margens passivas (iniciadas no Jurássico) e o rifting continental de idades Neocretácea e Paleogênica. Os compartimentos tectônicos descritos incluem três grupos litológicos: o embasamento, de idade pré 1.8 G.a; as rochas supra-crustais pós 1.8 G.a, e as rochas granitóides pós-tectônica Brasileiro e colisionais. A estrutural herdada mais antiga é a megassiformal do Paraíba do Sul.

Regionalmente a bacia ribeirão Santana, está inserida na megasseqüência Andrelândia, composta de biotita gnaisses bandados e quartzitos micáceos. Relata-se a ocorrência de uma deformação principal (D1+D2) gerada por encurtamento crustal, associada à dobras apertadas isoclinais, foliação principal e lineação de estiramento.

Houveram outros eventos de deformação tardia (D3 e D4) caracterizados por dobras com planos axiais subverticais e zonas de cisalhamento que redobram o conjunto anterior (Heilbron et al. 1995).

Na área de mapeamento ocorrem formas cársticas que geralmente encontra-se em rochas carbonáticas, mas que também podem ocorrer em rochas silicáticas. A bacia do Ribeirão Santana é um exemplo de morfologia cárstica associada a quartzitos. Embora a dissolução do quartzo seja pouco estudada, verifica-se que as formas cársticas são abundantes na região, caracterizando condições típicas dos processos de solubilização parcial dos minerais silicáticos.

Segundo LUNA (2003) e RUMP (1999) a diversidade de íons encontrados em solução na água pode ser muito abrangente, dependendo essencialmente dos limites de detecção (sensibilidade) dos equipamentos utilizados nas análises químicas e das condições ambientais das bacias. Os constituintes químicos inorgânicos solubilizados mais comuns para a caracterização das águas são Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Li^+ , Fe^{++} , Si^{+4} , HCO_3^- , Cl^- , F^- , NO_3^{-2} , NO_2^{-4} , SO_3^{-4} , SO_4^{-2} , PO_4^{-4} (TUNDISI, 2003; LUNA, 2003;; FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000; RUMP, 1999; FETTER, 1993; TUCCI, 1993, e outros) porém muitos outros elementos traços (na faixa de ppm ou ppb, respectivamente, mg/L ou µg/L) podem aparecer. Deste modo, através da varredura em espectrometria de massa, fica mais fácil determinar os constituintes dissolvidos, uma vez que se trabalha com diferentes limites de detecção LUNA (2003).

Esta linha de pesquisa está contemplada nos seguintes projetos: Edital MCT/CNPq 15/2007 - Universal - Faixa B - 2007/2009 (Processo 480.813/2007-8); "Evolução de bacias hidrográficas sob diferentes condições ambientais na eco-região de mata atlântica do sudeste brasileiro: integração de processos geoecológicos, hidrológicos e geomorfológicos". Programa Cientista de Nosso Estado - FAPERJ (Processo nº E-26/152.514/ 2006); aprovado para o período 02/2007 - 02/2009) - "Hidrologia e Erosão em Cabeceiras de Drenagem sob diferentes usos de solo na eco-região da mata atlântica: bases teórico-metodológicas para zoneamento e monitoramento ambiental". PRONEX

- Programa de Apoio aos Núcleos de Excelência (FAPERJ-CNPq, aprovado para o período 01/2007 – 01/2010, APQ1) – “Engenharia Geotécnica e Hidrologia no Sistema Encosta-Planície: bases científicas e tecnológicas para reabilitação de áreas degradadas”, sediado na COPPE/Programa de Engenharia Civil – Geotecnia, sob a coordenação geral do Prof. Dr. Willy Alvarenga Lacerda.

I.1 - FEIÇÕES GEOMORFÓLOGICAS

A evolução geomorfológica do sudeste brasileiro, principalmente no médio vale do rio Paraíba do Sul, tem encontrado indícios de predominância dos processos mecânicos ou de intemperismo químico para esculturação de suas feições. (BIGARELLA, MOUSINHO & SILVA, 1965; MEIS & MOURA, 1986; COELHO NETTO, 1999, 2003).

De acordo com os estudos iniciais de UAGODA et al (2006), na área de estudo são encontradas feições cársticas, lapieés, clarabóia (figura 01), dolinas e sumidouros em afloramentos quartzíticos (figura 02 e 03). Nestes afloramentos a rocha é composta essencialmente por quartzo, representando aproximadamente 90% em volume.

Com base no levantamento geológico preliminar realizada por AVELAR et al. (2006), a ocorrência de formas cársticas estaria vinculadas ao controle lito-estrutural da região, através da dissolução dos níveis de quartzito (impuro) e formação de dutos, cavernas e microespeleotemas (figura 04 e 05).



Figura 01: Feições de dissolução A- lapieés, B -formação de dutos; C e D - Clarabóia formada em área de recarga.



Figura 02: Feições de dissolução dolinas em destaque de vermelho.



Figura 03: Feições de dissolução: sumidouros ativos na região.



Figura 04: Feições de dissolução : A e B – formação de dutos; C e D – formação de colunas gerada por abrasão generalizada das paredes do quartzito.



Figura 05: Feições de dissolução : Cavernas formadas devido à dissolução ao longo da foliação.

Apesar da dissolução de rochas silicáticas não ser comum, estudos recentes indicam que pode haver uma solubilização lenta e ao longo de elevado tempo geológico atuando em rochas constituída parcialmente ou essencialmente por sílica. Em especial, ocorrem em gnaisses e quartzitos, podendo gerar feições cársticas que este processo ter influencia na evolução geomorfológica do médio vale do rio Paraíba do Sul e de outras áreas do passado geológico recente (FILIZOLA e BOULET, 1993; COELHO NETTO, 2003; WRAY , 2003; DOERR, 1999).

II – OBJETIVO E ÁREA DE ESTUDO

O objetivo principal deste trabalho é o mapeamento geológico e a caracterização estrutural na escala 1:10.000, para o entendimento da evolução geomorfológica do sistema cárstico na bacia do Ribeirão Santana.

O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia do Ribeirão Santana, com área de 286 km², localizada entre os paralelos 21°55'e 22°05'S e meridianos 44°00'e 43°45'L (figura 06). A área situa-se no vale do rio Preto, bacia do rio Paraíba do Sul, que é uma bacia de 5ª ordem na escala 1:50:000 segundo o critério de STRAHLER, 1952.

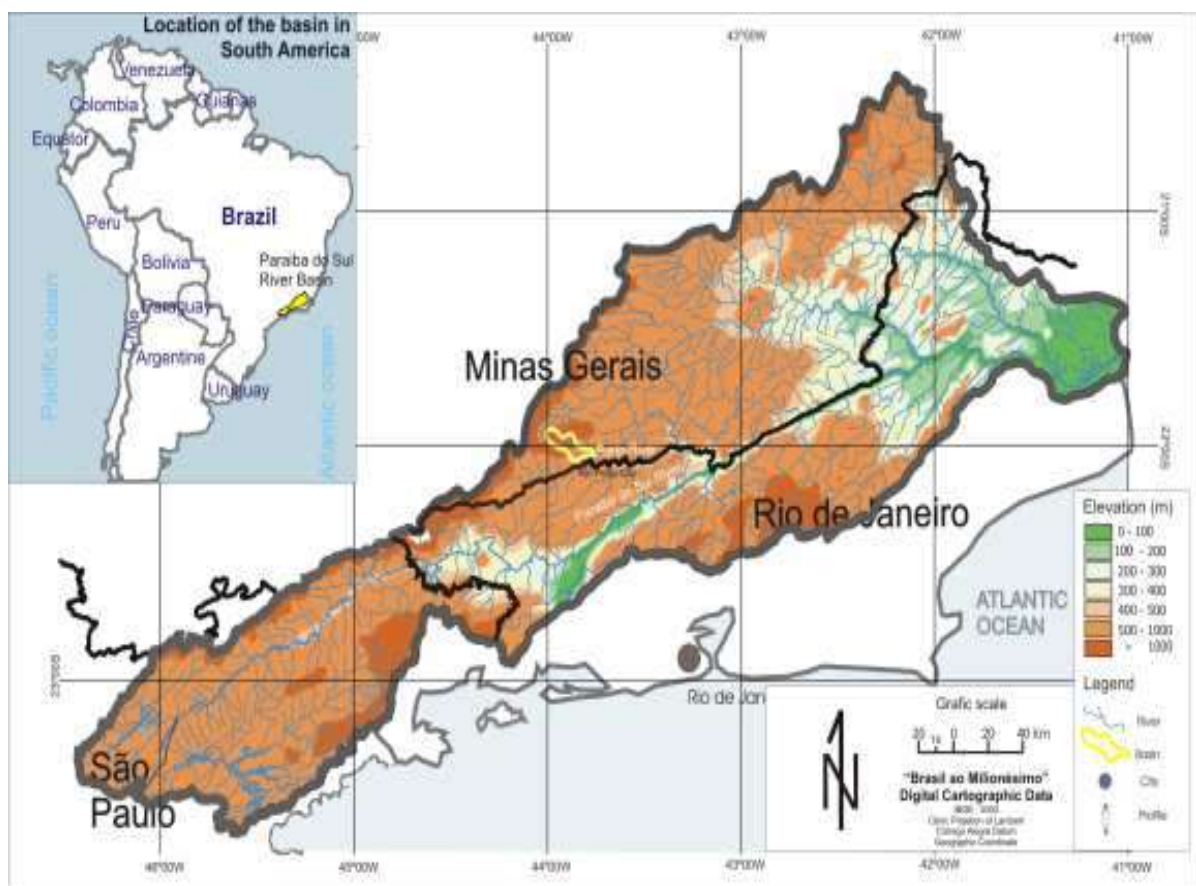


Figura.06: Mapa hipsiométrico da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, demonstrando em amarelo a localização da Bacia do Ribeirão Santana.

O acesso a região pode ser feito a partir da BR-393 em direção Conservatoria, todo o percurso é asfaltado. As rodovias estaduais, como a RJ -

151 na fronteira com Minas, as RJ-115, RJ-153 e RJ-143 que complementam o sistema viário do município.

No mapa geológico da bacia hidrográfica, elaborado a partir da compilação de cartas geológicas 1: 100.000 da COMIG e do CPRM (figura 07). Prevaecem basicamente as seguintes unidades de mapeamento: biotita, silimanita - gnaiss e quartzitos.

No mapa hipsiométrico ocorrem zonas de maior altimetria da bacia hidrográfica, entre as cotas de 1000m até 1800m (figura 08). Há também uma formação central isolada, denominada chapadão.

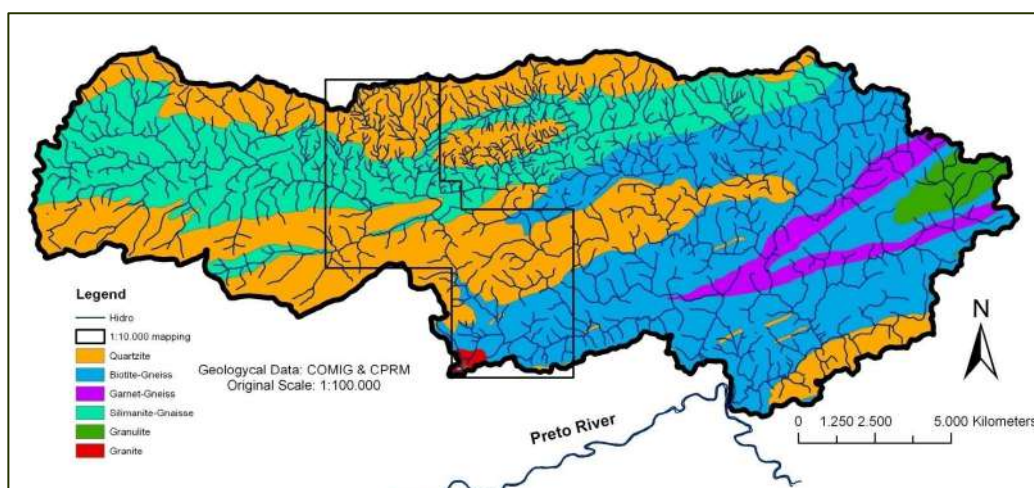


Figura.07: Mapa Geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, na escala 1:100.000. O retângulo destaca a área de mapeamento. COMIG & CPRM.

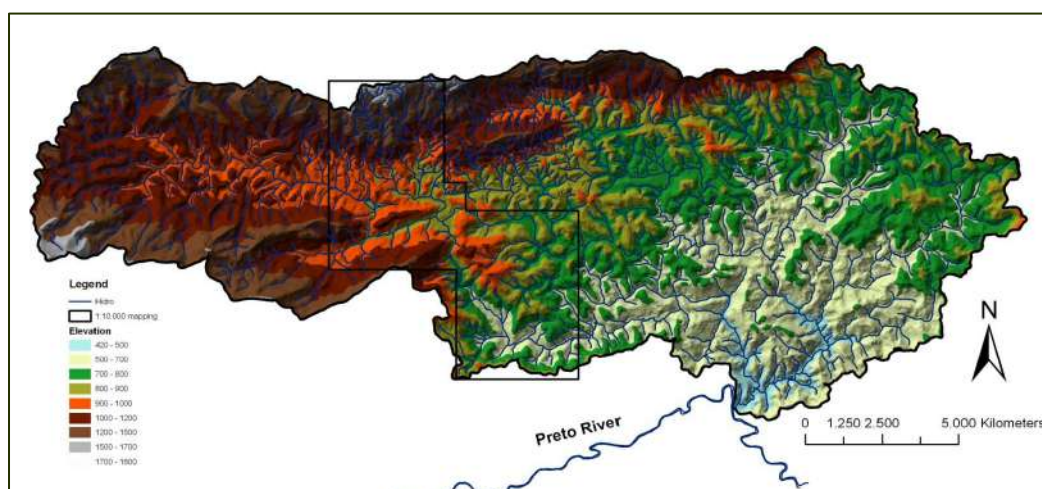


Figura.08: Mapa hipsiométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, na escala 1:100.000. O retângulo destaca a área de mapeamento UAGODA et al (2006).

III - GEOLOGIA REGIONAL

Os diversos domínios geológicos descritos para o sudeste do Brasil apresentam faixas de rochas quartzíticas que mostram nítida diferenciação morfológica na paisagem. Nos domínios da Faixa Ribeira, destaca-se a ocorrência de quartzitos na sequência meta-sedimentar Andrelândia.

ALMEIDA (1977, 1981), o orógeno Ribeira faz parte de um conjunto de faixas de dobramento, denominado Província da Mantiqueira, que se desenvolveram diacronicamente a Orogênio Brasileiro - Pan africano (Neoproterozóico), a qual se deu a formação da porção ocidental do paleocontinente Gondwana.

De acordo com ALMEIDA et al. (1981) área de pesquisa está geotectonicamente contida na província Mantiqueira.

Nesta província NUMMER, A. R. (1992) mostra que no sul do estado de Minas Gerais afloram rochas metassedimentares Proterozóicas que sofreram história de deformações complexas, que produziram padrões de interferência, registrados em três fases deformacionais: D1, D2 e D3. Estudos estruturais realizados por DEHLER (1999), caracterizam uma condição estrutural mais proeminente da deformação brasileira nos domínios Juiz de Fora, Paraíba do Sul, Mantiqueira e Andrelândia, que apresentam orientação predominante para NE, em concordância com principais zonas de cisalhamento regionais. A transição entre os domínios Mantiqueira e Andrelândia é balizada, o sul pela zona de cisalhamento de Rio Preto, que mergulha em média 35 graus para o sul.

Segundo ALKIMIM et al. (1993), o domínio norte de estrutura divergente, a sul da zona de cisalhamento Rio Preto, é caracterizada por uma tectônica compressiva, com empurrões oblíquos com vergência de topo para noroeste, importante direcional lateral para direita.

Para HEILBRON (1993) esses movimentos estariam associados às fases de deformação contínuas D1 + D2, concomitantes ao metamorfismo

regional M1, evoluiria no tempo para oblíqua, com componente direcional dextral e para noroeste já numa fase tardia da evolução tectônica da faixa móvel. Portanto, HEILBRON et al. (1994) denominou essa fase tardia como D3.

HEILBRON (1995) aponta que pelo contexto regional a bacia hidrográfica do ribeirão Santana situa-se no compartimento tectônico do grupo Andrelândia, inserido no segmento central da Faixa Móvel Ribeira.

De acordo com HELBRON (2002), a folha Rio Preto compreende unidades litológicas dos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, do Terreno Ocidental. A convergência Neoproterozóica nesses terrenos da Faixa Ribeira é subdividida em duas etapas principais, datadas pelo método U – Pb: deformação principal (D1 + D2), 595-565 Ma; e deformações tardias (D3 + D4), com idade de 535 -480 Ma.

A deformação principal no Domínio Andrelândia é representada por dobras apertadas a isoclinais, reviradas a reclinadas, é denominada pelo dobramento D2. Já a deformação principal no Domínio Juiz de Fora, restringe-se a uma estreita faixa alongada na direção NE-SW, balizada a norte pelo empurrão basal e a sul pelo Rio Preto. As deformações tardias ocorreram após o intenso encurtamento crustal durante a deformações primárias. O segmento da Faixa Ribeira sofreu os efeitos da deformação D3 gerando dobras abertas e apertadas, inclinadas e reclinadas, com eixos NE-SW sub-verticais e sub –horizontais e planos axiais com mergulhos que variam ora para SE ou NW.

IV – MÉTODO E MATERIAL UTILIZADOS

A metodologia de trabalho utilizado foi dividido em 5 etapas: Levantamento bibliográfico, Mapeamento geológico, Análise estatística dos elementos estruturais, Coleta e Análise química da água e Análise petrográfica.

O levantamento bibliográfico teve a finalidade de correlacionar e estudar trabalhos anteriores, que tenham como foco o conhecimento de tipos de análises hidrogeoquímicas e dissolução de silicatos.

O mapeamento geológico foi realizado na escala 1: 10.000, situado nas proximidades do município de Valença - (RJ) e Rio Preto - (MG). Foram escolhidos pontos para detalhamento das feições estruturais em especial: fraturas e foliações das rochas. Com base no mapa geológico foram confeccionados dois perfis geológicos na escala 1:10.000. Também foram realizadas análises estatísticas por rosetas e estereogramas a partir do levantamento de dados coletados em campo baseada nas orientações de fraturas e suas quantidades e comprimentos para cada litologia presente na bacia, aplicando o “Circle-inventory method” (Davis, 1984). Segundo este método, ao longo do maior eixo do afloramento são feitos círculos de diâmetro e espaçamento de 1m entre os círculos e 1m de diâmetro. Dentro dos círculos é medido o strike, o dip e o comprimento de cada fratura as separando por sets (figura 09).



Figura. 09: coleta de medições das fraturas e suas quantidades e comprimentos.

Em diversos pontos da área de estudo foram realizadas coletas de água para análises químicas. Foram feitas coletas de água após períodos de chuva, do escoamento superficial em encostas, da zona não-saturada abaixo da zona de raízes, da zona saturada (em cavernas e poços de água subterrânea) e do escoamento superficial fluvial. O material coletado foi enviado para a Universidade Católica de Brasília (UCB) – onde foi feita a análise quantitativa e qualitativa dos íons dissolvidos. O método utilizado foi o de varredura (“scan”) em espectrometria de massa.

Amostras de água foram coletadas nos diferentes tipos litológicos encontrados (tabela 01), nas posições de calhas de rios, concavidades suspensas, sumidouros e fundos de cavernas em dois períodos hidrológicos do ano, um seco (inicial) e outro chuvoso (final). Através dos resultados da análise química observa-se que a maior discrepância entre os íons dissolvidos é em relação ao da sílica, como pode ser constatado pelos gráficos (mg/L).

LOCALIZAÇÃO	pH	ORP	CONDUTIVIDADE	STD	DESCRIÇÃO	LITOLOGIA
Nível de base	6,78	296 mV	21.0 µS/cm	74.9 ppm	prox. Ao ribeirão Sant'ana	gnaisse
Sumidouro	7,2	300 mV	12.90 µS/cm	59.4 ppm	Sumidouro / proximo a trilha da gruta do Funil	quartzito puro
Ressurgência - Fundo	5,89	308 mV	12.85 µS/cm	53.9 ppm	Ressurgência/ proximo a trilha da gruta do Funil	quartzito puro
Ressurgência - Parede	4,07	354 mV	38.6 µS/cm	177 ppm	Ressurgência/proximo a trilha da gruta do Funil	quartzito puro
Caverna - Fundo	4,11	334 mV	42.3 µS/cm	165.8 ppm	Dentro da Gruta do Funil	quartzito puro
Caverna - Meio	4,32	374 mV	28.8 µS/cm	142.7 ppm	Dentro da Gruta do Funil	quartzito puro
1ª Concavidade	5,48	330 mV	10.8 µS/cm	44.9 ppm	Dentro da concavidade proximo a estrada do Funil	quartzito impuro
2ª Concavidade	6,43	280 mV	15.53 µS/cm	74.5 ppm	Dentro da concavidade proximo a caverna da Raquel	quartzito impuro
rio São Lourenço	7,55	207 mV	26.5 µS/cm	137.9 ppm	rio São Lourenço/ proximo a ravina	gnaisse
Canyon	5,64	247 mV	8.23 µS/cm	33.9 ppm	Canyon/ estrada depois de 3 cruzeiros no sopé da Serra Negra	quartzito impuro
Nível de base	5,29	285 mV	6.47 µS/cm	23.4 ppm	proximo ao bambuzal/ estrada do eucalipto	quartzito impuro

Tabela 01: pontos de localização da coleta de água para análise química mensuradas em campo parâmetros físico-químicos; como pH, STD e condutividade elétrica entre outros para cada litologia.

Por fim, foram realizadas coletas de rocha sã em quantidade expressiva para a confecção de lâminas petrográficas delgadas, visando o melhor entendimento de toda a complexidade geológica presente na região.

V – RESULTADOS E ANÁLISES

V.1 – MAPEAMENTO GEOLÓGICO

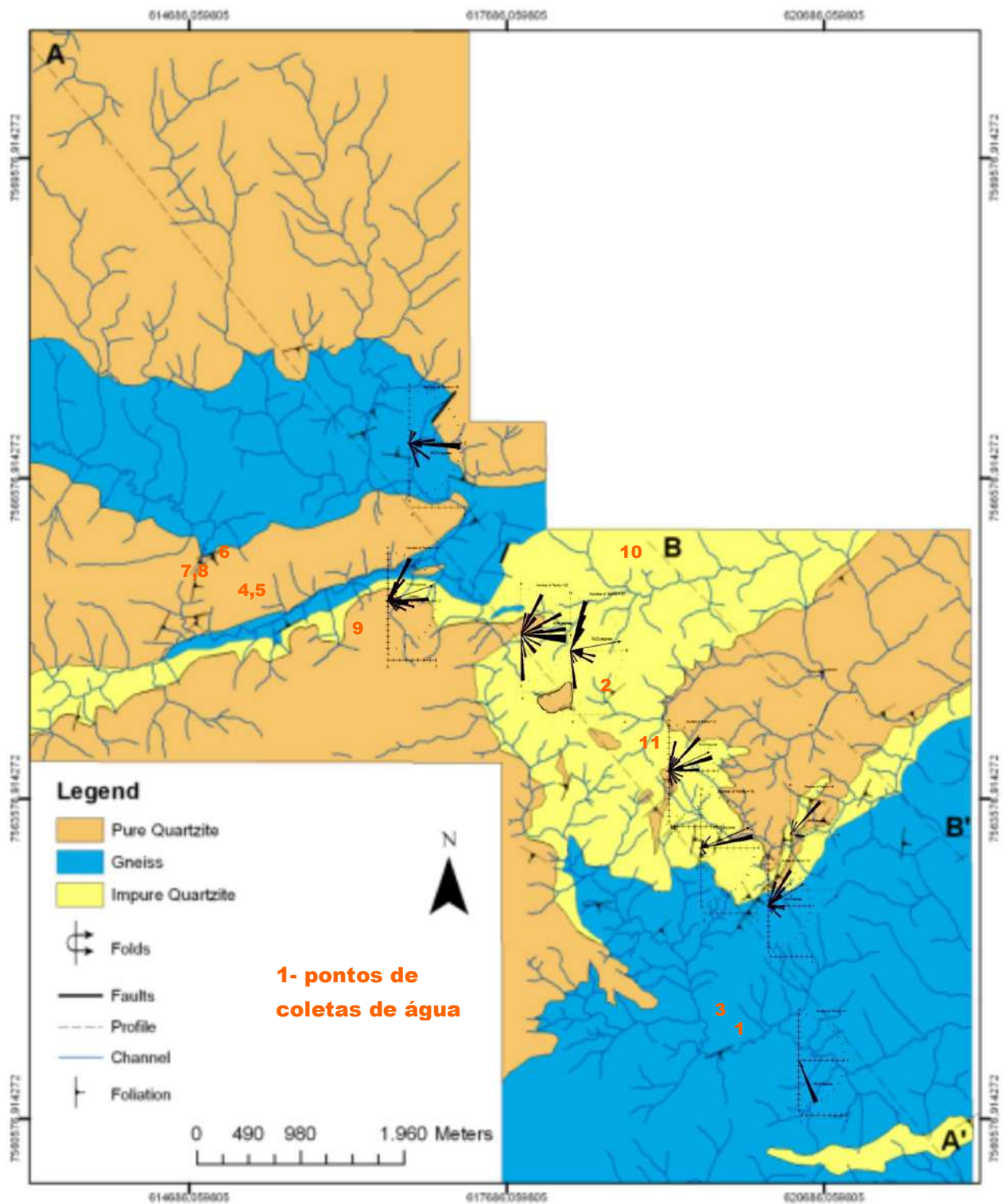


Figura 10: mapa geológico e seções geológicas, na escala 1:10.000.

V.1.1 – ELABORAÇÃO DE PERFIS

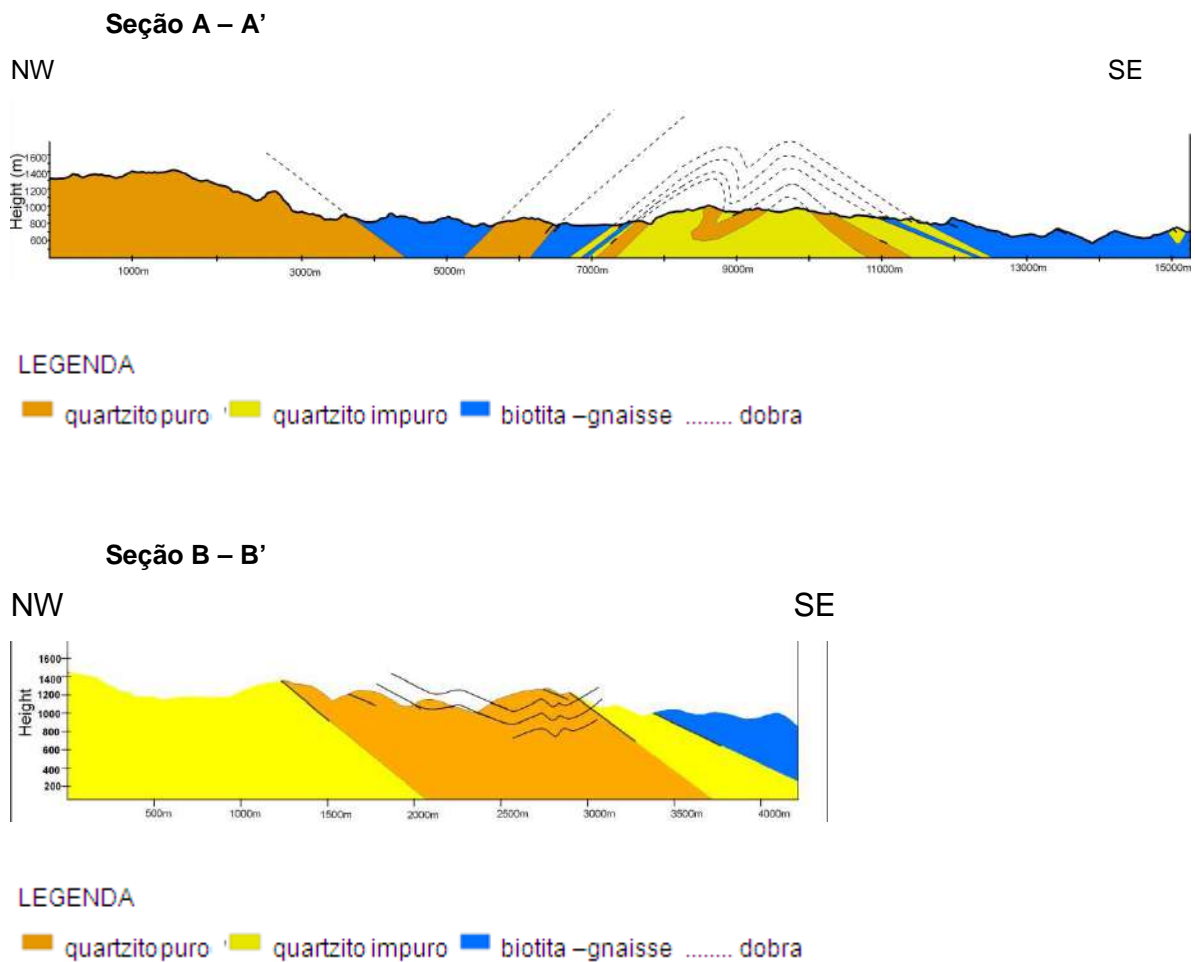


Figura 11: Perfis Geológicos nas seções A- A' e B-B' com direção NW/SE, na escala 1:10.000.

Os perfis geológico A - A' e B - B' com direção NW-SE, na escala 1:10.000, demonstram uma sequência de rochas dobradas assimetricamente com mergulhos vertical e sub- vertical, com ocorrência de dobras parasíticas em quartzito puro (figura 11).

Segundo HEILBRON et al. (1995), existe a ocorrência de uma deformação principal (D1+D2) gerada por encurtamento crustal, associada à dobras apertadas isoclinais, foliação principal e lineação de estiramento. Também ocorreram outros eventos de deformação tardia (D3 e D4)

caracterizados por dobras com planos axiais sub-verticais e zonas de cisalhamento que redobram o conjunto anterior.

As dobras assimétricas apresentadas no perfil estão associadas no evento deformacional (D2) e as dobras parasíticas no evento de deformação (D1) que estão inseridas na megassinforma do Paraíba do Sul.

Nas áreas de altimetrias mais acentuadas entre 1000 e 1800 metros, são mantidas as rochas quartzíticas, enquanto as áreas mais baixas dos fundos de vale são relativos gnaisses, indicando um controle litológico nas áreas montanhosas.

Na bacia do ribeirão Santana, há uma nítida influência lito-estrutural na percolação da água e dissolução dos minerais, acionando intemperismo e posteriormente a remoção de materiais por piping dando origem as cavernas. Nos flancos sub-horizontais de dobras parasíticas, ocorrem cavernas associadas aos processos mecânicos de evolução das encostas e fundos de vale . (figura 12).



Figura 12: Foto das entradas das cavernas na bacia do Ribeirão Preto em rochas quartzito.

V.1.2- UNIDADES DE MAPEAMENTO

O mapeamento geológico permitiu a individualização de três unidades de mapeamento que prevalecem na bacia do Ribeirão Santana: a) quartzito impuro; b) quartzito puro e c) biotita – gnaiss. Vale ressaltar que o termo (impuro) e (puro), foi utilizado para separar o quartzito, apesar da semelhança da descrição mineralógica, o (puro) apresenta granulometria grossa e grãos recristalizados diferenciando do (impuro) que apresenta granulometria média e grande quantidade de minerais micáceos.

a) megascopicamente, o quartzito (impuro) possui cor natural clara, com granulometria variando de 1 a 3 mm. Composto mineralogicamente por quartzo, feldspatos, muscovita, turmalina e opacos. Observa-se foliação bem marcada (figura 10), em alguns casos ocorrem níveis de quartzo cerca de 2 cm e níveis centimétricos até métricos, onde ocorrem outros minerais como feldspatos, menos resistentes à ação intemperica (transformando para caulim). Ao longo da foliação nítida observação da continuidade da dissolução. (figura13).



Figura 13: quartzito (impuro) com foliação bem marcada e feições de dissolução ao longo da foliação formando dutos e micoespeleotemas.

b) megascopicamente, o quartzito (puro) apresenta cor natural intermediária à clara, com granulometria grossa. Composta mineralogicamente

por quartzo, feldspatos, muscovita, turmalina e opacos. Apresenta foliação bem marcada, com níveis de quartzito impuro e fraturas penetrativas. Em algumas situações encontramos camadas mais recristalizadas (figura 14).



Figura 14: feições de dissolução em amostras de quartzito (puro).

Além destas litologias, ocorrem afloramentos de biotita-gnaiss bandado nos fundos de vales, com cor natural acinzentado e granulometria variando de 2 a 5 mm. Esta rocha é rica em biotita, tendo granada, sillimanita, quartzo e feldspatos em menor quantidade.

V. 1.3 – ANÁLISES PETROGRÁFICAS

Através de lâminas delgadas, a contagem modal indicou a seguinte composição média: a) biotita-gnaiss com 50% de biotita, 27% de quartzo, 14%

de feldspato, 8% de granada e 1% de minerais opacos(figura 15); b) quartzito impuro com 83 % de quartzo, 14% de muscovita, 1% biotita, 1% de turmalina, 1% de minerais opacos, zircão em quantidade traço (figura 16). c) quartzito puro com 94% de quartzo, 3% de muscovita, 1% de biotita, 1% de minerais opacos e 1% de zircão.

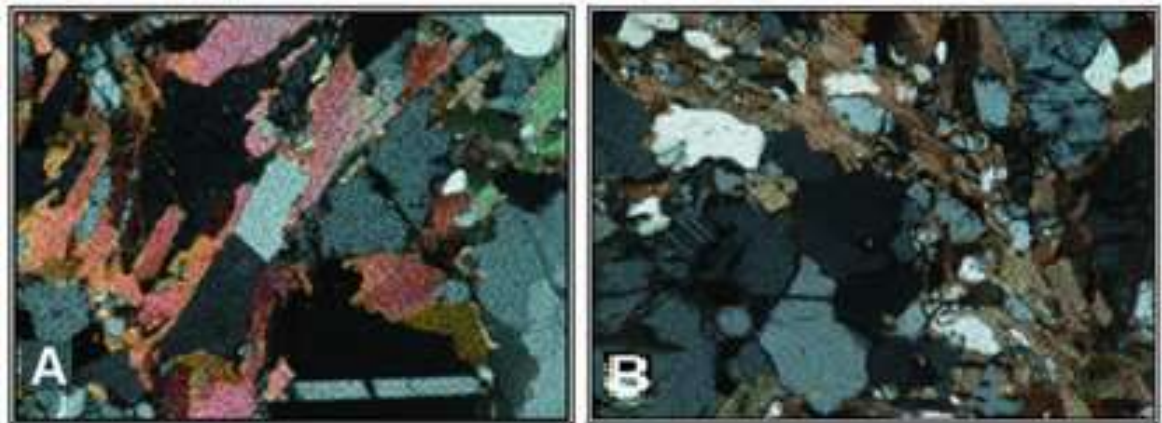


Figura 15: Lâmina petrográfica do biotita gnaiss.

No biotita-gnaiss foram observados minerais, com granulometria média a fina. O material é mal selecionado, muito compactado, devido aos contatos entre os grãos serem suturados e côncavo-convexos. Possui aproximadamente 10% de minerais máficos, possivelmente secundários (figura 13). O cimento é silicático e os cristais variam de subangulares a muito angulares e segundo a tabela de MULER (1967), eles possuem uma circularidade entre 69 e 71. Seus cristais são de quartzo, plagioclásio, biotita, microclina, muscovita, apatita e máficos.

O mineral mais abundante é o quartzo, que foi identificado pelo seu relevo baixo, por ser incolor, por ter birrefringência baixa (de cinza a amarelo), ocorrendo em cristais anédricos, prismáticos, orientados, muito fraturados, que variam de submilimétricos a 5,3 mm e alguns cristais possuem extinção ondulante. Como inclusões temos: muscovita, biotita e fragmentos de quartzo.

O plagioclásio é identificado pela geminação polissintética, mas também é identificado pela sua birrefringência baixa, por ser incolor e por ter relevo baixo. Seus cristais são anédricos, tabulares, variam de 1,18 a 2,3 mm, e apresenta cristais de muscovita, biotita e quartzo inclusos. Em alguns exemplares foram observadas inclusões periclíneas.

A biotita é facilmente encontrada por sua cor castanha, seu pleocroísmo que varia de amarelado a castanho escuro, seu plano de clivagem bem definido, sua forma prismática, a extinção reta e “bird eyes”. Seus cristais são euédricos, variam de submilimétricos a 2,20 mm e são encontrados em aglomerados, inclusões ou alinhados segundo os contatos.

A microclina, cujos cristais possuem formas subédrica e anédricas, são tabulares, e o tamanho varia de submilimétrica a 2,35 mm. Uma característica importante, que é freqüentemente encontrada é a sua geminação tartan, além disso, apresenta inclusões de muscovita, quartzo e apatita. Os cristais estão muito fraturados.

A Muscovita é identificada por ser incolor, ter cor de interferência elevada, forma prismática e bird eyes. Seus cristais variam de subédricos a anédricos e às vezes ela se encontra alterada para sericita.

A apatita se encontra em pequenos cristais euédricos, de hábito granular ou prismático, são incolores, possuem relevo alto e baixa birrefringência.

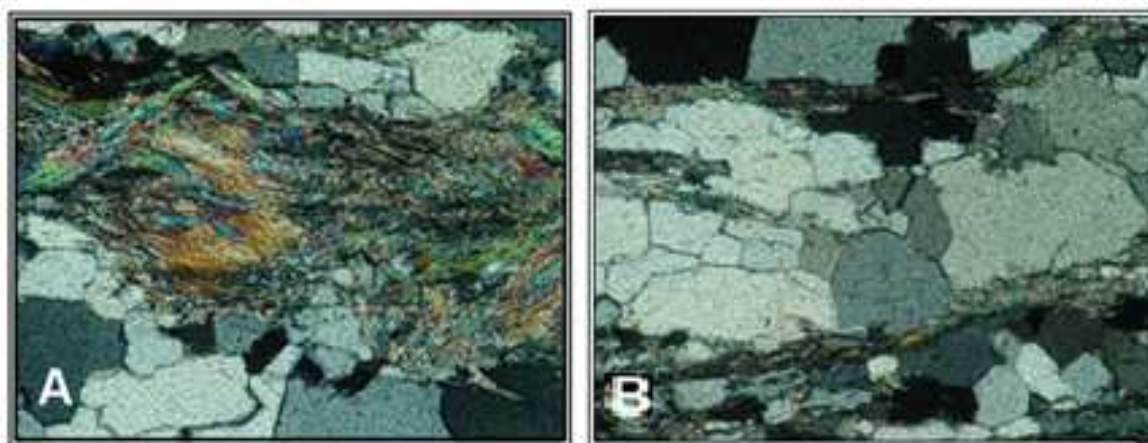


Figura 16: Lâmina petrográfica do quartzito impuro.

No quartzito (impuro) foram observados grãos de quartzo estirados que indica a intensa deformação desta rocha, destacando –se contato retilíneo entre os grãos. A fotomicrografia mostra textura lepidoblástica típicas de rochas que apresentam minerais micáceos com orientação dada pela muscovita; nicóis cruzados; objetiva 10x. A Composição mineralógica apontou a presença de quartzo 94%, muscovita 3%, biotita 1%, minerais opacos 1% e zircão 1%.

V.2- GEOLOGIA ESTRUTURAL

a) *Quartzito (impuro)*: Nesta unidade geológica observamos estiramentos minerais em alguns afloramentos, havendo também dois sets de fratura, e em alguns pontos há ocorrência de percolação de ferro preenchendo as fraturas. Foram observadas falhas no sentido SE- NW e dobras antiformal suaves com dobras parasíticas.

Na unidade definida como quartzito impuro encontram - se dispostas dobras com superfície axial sub-vertical e eixos sub - horizontais com caimento para W-E, onde há participação de processos químicos atuantes.

b) *quartzito (puro)*: Nesta unidade observa-se dobras suaves a apertadas e antiformal suave, com eixo aproximadamente 260/ 05, em quartzito puro (figura 17) e fraturas sub-verticais, que são áreas favoráveis a infiltração de água e colapso de blocos (figura 18).

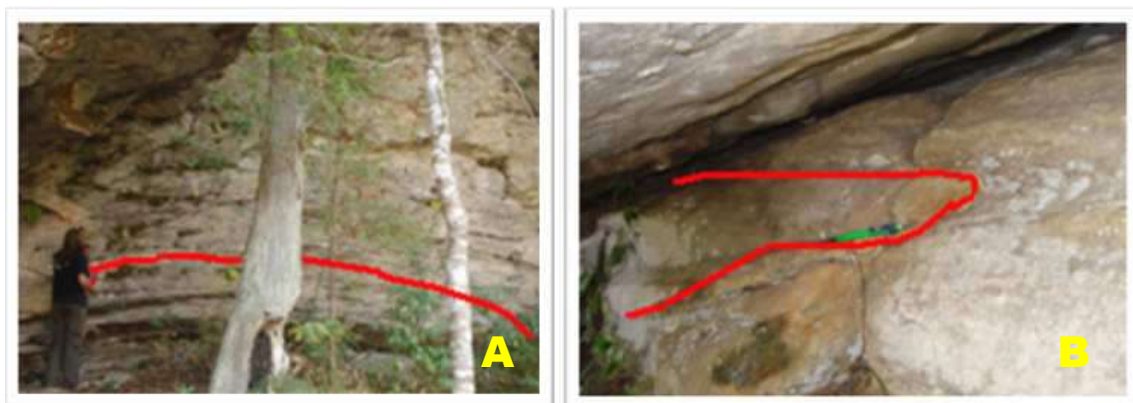


Figura 17: A- dobra antiformal bem suave, em quartzito puro; B- dobra apertada em quartzito puro.



Figura 18: fraturas sub-verticais no quartzito puro.

c) *biotita-gnaiss*: Apresentam uma foliação tectônica bem marcada e em alguns casos, ocorrência de crenulação e dobras centimétricas abertas em S e fechadas em S com direção W-E. Também observa-se ocorrência de boudin de quartzo com aproximadamente 15 cm.

V.2.1 – ANÁLISES ESTRUTURAIS: ESTEREOGRAMAS E DIAGRAMAS DE ROSETA

No estereograma de fraturas gerais encontram-se em todas as direções, como já era esperado para uma área Pré-Cambriana onde já houve uma série de deformações. Apesar disso as fraturas sub-verticais estão predominantemente para NE-SW (figura 19) e através das rosetas locais podemos ver que esse set ocorre principalmente na zona de charneira da dobra. Também ocorrem fraturas sub-horizontais que são interpretadas como fraturas de alívio de tensão e elas se instalaram na foliação S0//S1. As fraturas locais estão influenciando na orientação dos canais. A densidade de fraturas se mostra maior nos quartzitos e menor no gnaiss.

A foliação S0//S1 apresenta caimento para sudeste e noroeste, caracterizando o dobramento, com ângulos entre 0° e 40°, como é observado no estereograma de foliações (figura 20).

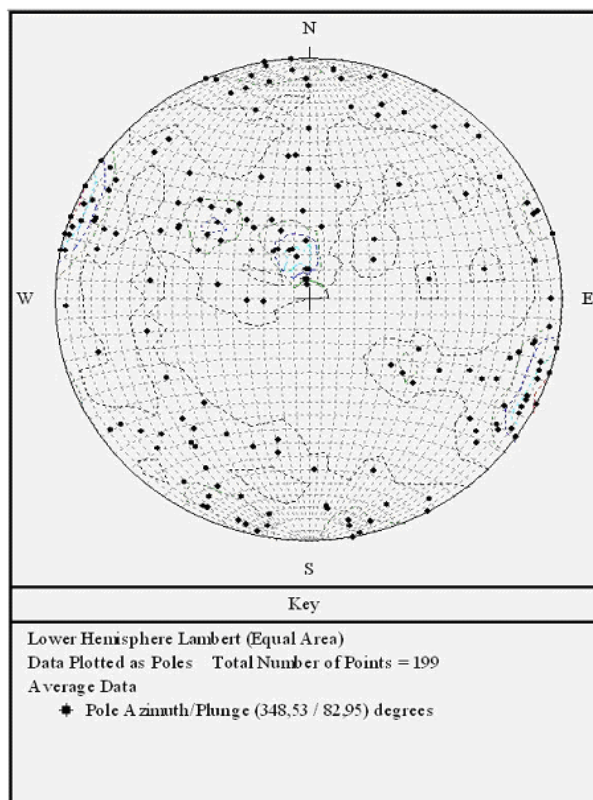


Figura 19: Estereograma de Fratura

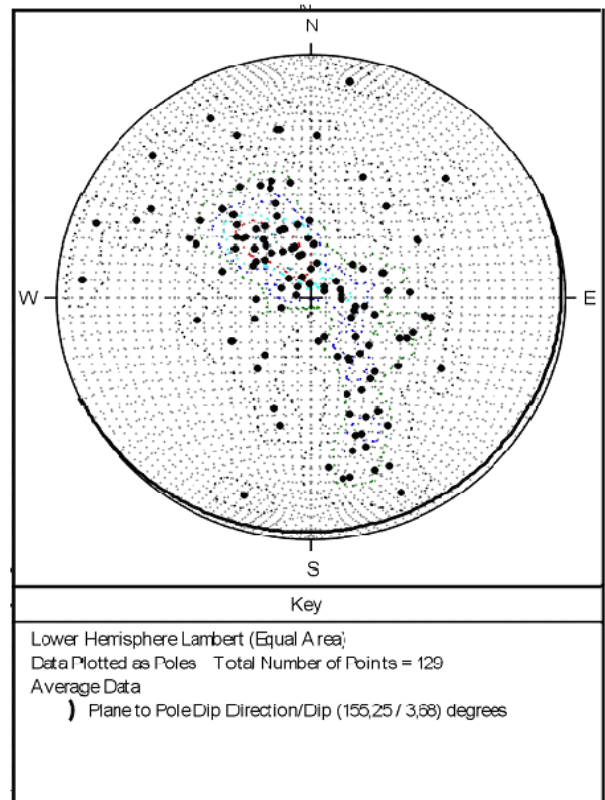


Figura 20: Estereograma de Foliação

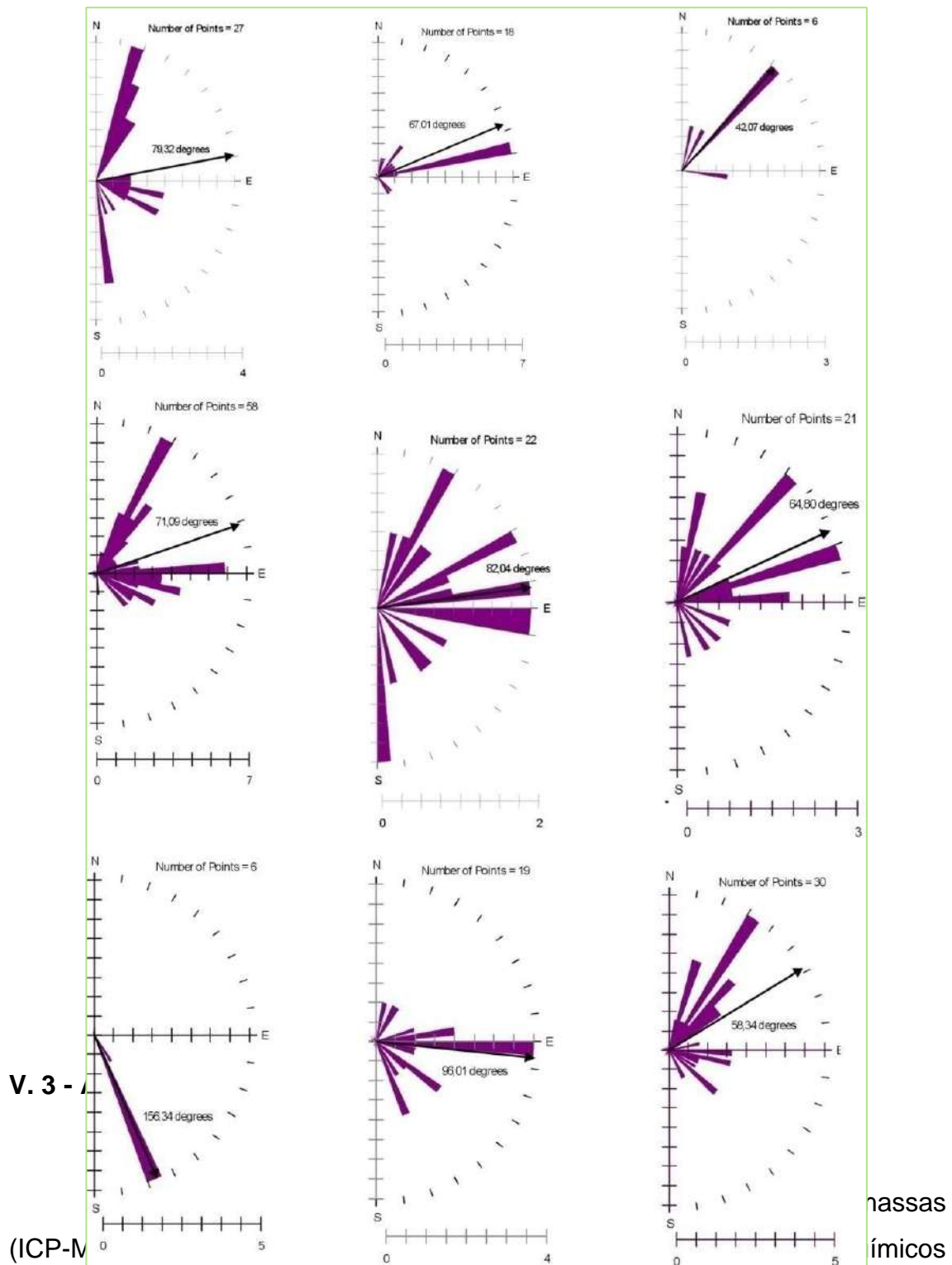
Foram escolhidos três pontos de coleta para cada unidade de mapeamento, representados na tabela 02.

Após a coleta de dados em campo, foram realizados cálculos de densidade pelo comprimento (Dc) e densidade pelo número de fraturas (Dn) para cada tipo litológico e com base na (tabela 02), foram confeccionados os diagramas rosetas evidenciando os sets de fraturas em cada ponto.

	Σ Comprimentos (cm)	Área do círculo ($A_c = \pi (r)^2$)	Nº Fraturas (n)	Densid. de Comp. ($D_c = S.Comp./A_c$)	Densid. de Nº ($D_n = n/A_c$)
CIM6	7102	7853,981634	180	0,9043	0,0229
P25	2338	7853,981634	60	0,2977	0,0076
P29	1214	7853,981634	36	0,1546	0,0046
CIM5	3878	7853,981634	89	0,4938	0,0113
P36	2127	7853,981634	29	0,2708	0,0037
P58	2016	7853,981634	51	0,2567	0,0065
CIM8	301	7853,981634	12	0,3909	0,0015
P39	1034	7853,981634	37	0,1317	0,0047
P54	2711	7853,981634	59	0,3452	0,0075

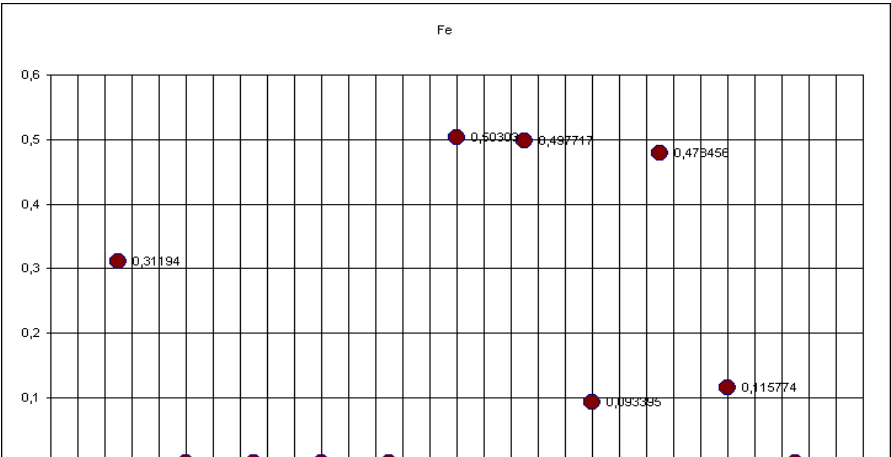
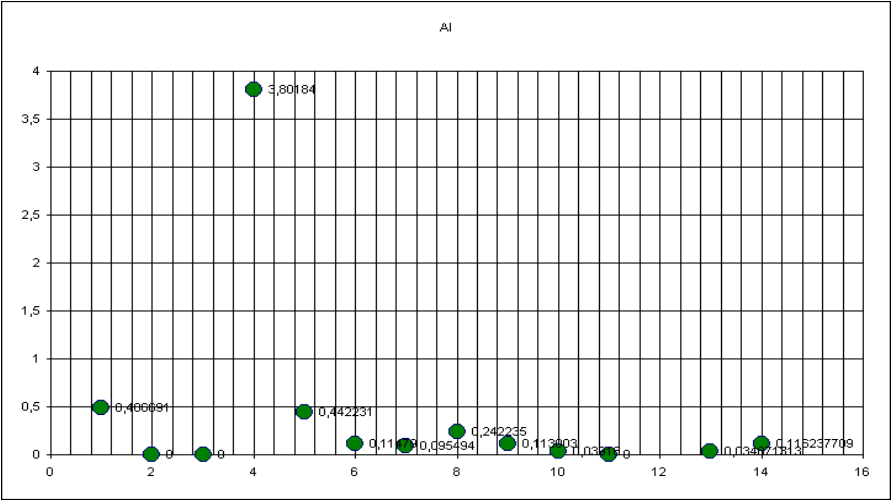
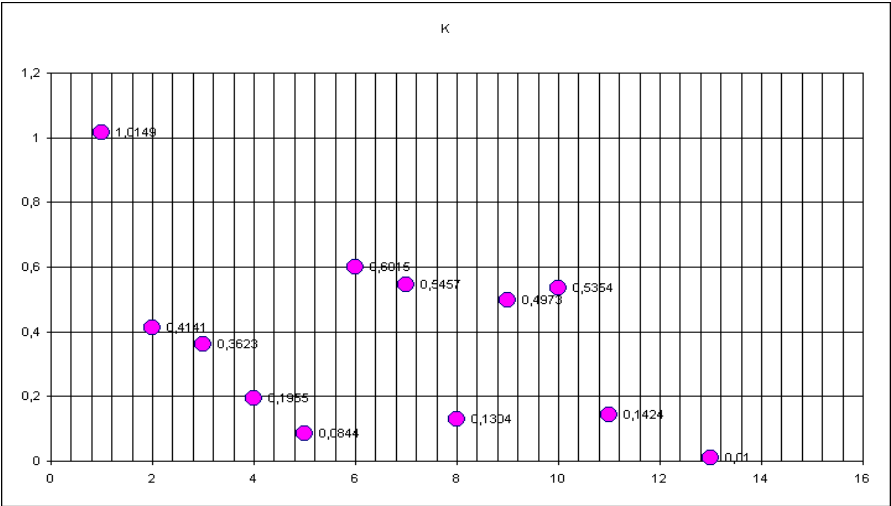
Tabela 02: Tabela com resultado dos cálculos de densidade pelo comprimento (Dc) e densidade pelo número de fraturas.

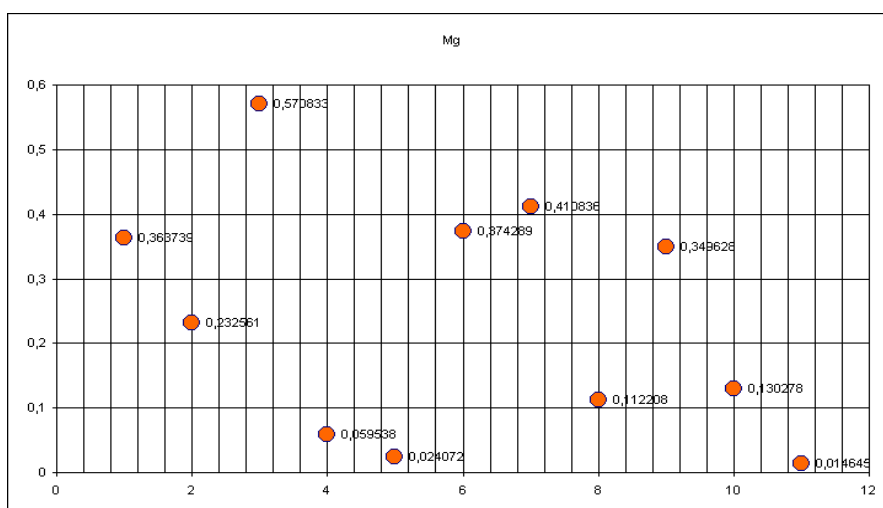
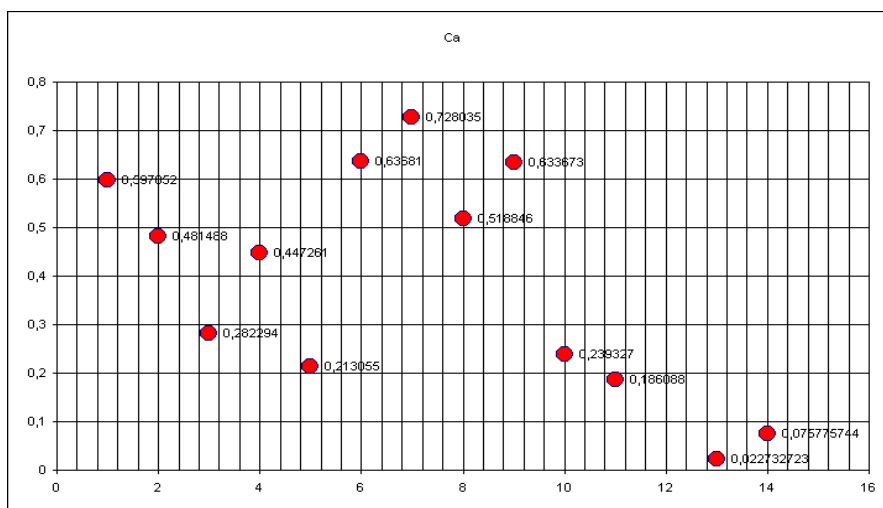
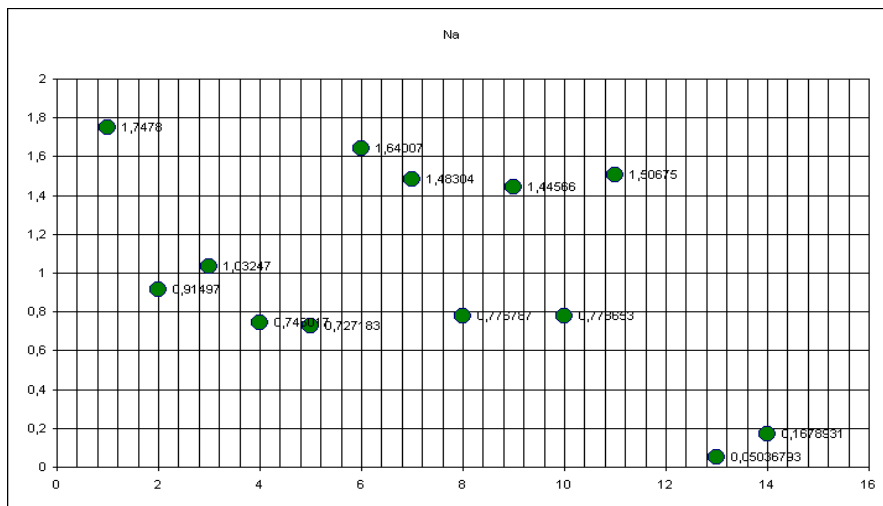
Os diagramas de rosetas de fraturas indicam uma influência local das fraturas na orientação dos canais tributários. Através deste levantamento ficou evidenciado a maior influência das fraturas é maior nos quartzitos do que no gnaiss (figura 21)



solubilizados na água (Si, Al, Ca, Fe (total), Mg, K, e Na), demonstrando os

respectivos valores (mg.L^{-1}), entre: 0.24 to 0.80; 0.04 to 3.80; 0.18 to 0.72; 0.09 to 0.50; 0.02 to 0.57; 0.08 to 1.01; e 0.05 to 1.74. As análises demonstram grandes diferenças na concentração dos elementos entre coletas feitas em rios e em cavernas (figura 22).





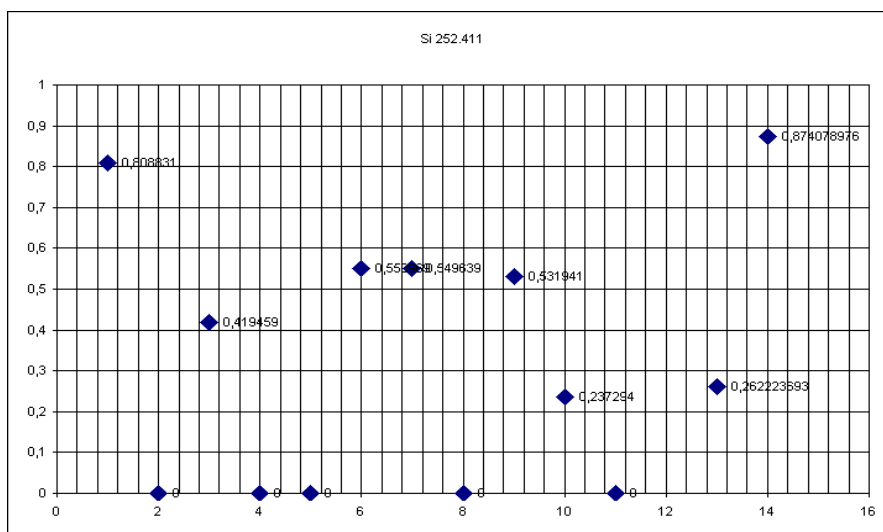


Figura 22: Gráficos de dados obtidos em dois períodos hidrológicos do ano: verão e inverno.

Nas tabelas comparativas entre os dois períodos de coleta de água, foram montados somente os gráficos dos dados obtidos em ambas as coletas. Nos pontos onde os valores estavam como < LD foram considerados como inferior as quantidades. Pois muitos elementos químicos não foram analisados na segunda coleta ou simplesmente não estavam presentes na amostra.

Existem pontos onde não foram feitas novas coletas, estes foram descartados nesta análise final.

Tais resultados indicam maior solubilização no quartzito impuro e no gnaisse, em contraste ao quartzito puro, sendo entendido pela maior disponibilidade de material dissolvido, tal como observado em campo pelas formas cársticas associadas estes processos hidrogeoquímicos.

VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho aborda o mapeamento geológico, na escala 1:10.000, de um sistema tipicamente carstico em rochas quartzicas para o entendimento do papel geológico nos processos de dissolução química da evolução geomorfológica.

Na área da bacia do Ribeirão Santana prevalecem três tipos litológicos: biotita-gnaiss, quartzito impuro e quartzito puro. As seções geológicas demonstram-se as famílias de dobramentos principais e parasíticos com caimento para NW/SE, associados a eventos deformacionais ocorridos na faixa Ribeira.

A família de dobras apresentadas no perfil estão associadas no evento deformacional (D2) e as dobras parasíticas no evento de deformação (D1), que estão inseridas na megassinforma do Paraíba do Sul e representa a etapa de maior encurtamento crustal .

Nas análises estatísticas realizadas na bacia do Ribeirão Santana, o estereograma de foliação apresentou um plano de pólo médio com orientação (dip/dip) 323°/ 32° e rosetas de fraturas que demonstraram uma direção preponderante com valores 100-120° a 280-300°, com baixa frequência de fraturas secundárias. Ocorre uma nítida influência lito-estrutural na área da bacia, na percolação da água e dissolução dos minerais. A ocorrência de quartzitos de composições diferenciadas (puro e impuro) condiciona a formação de feições morfológicas cársticas dando origem a cavernas, dolinas, superfícies lapies.

Estas feições estão também associadas aos padrões estruturais da área, principalmente foliações e fraturas. O desenvolvimento das feições cárstica também influenciam na evolução das redes de canais e o comportamento geomorfológico da bacia.

VII- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, P. 349-364.

- ALMEIDA F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. (1981) Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Review*, v. 17, p. 1-29.
- ALKMIM, F.F.; NEVES, B.B.B.; ALVES, J.A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco- uma revisão. In: DOMIGUEZ, J.M.L. & MISI, A. (eds.) *Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco. Reunião Preparatória*. Salvador, 1993, SBG/SGM/CNPq, p. 45-62.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; UAGODA, R. E. S & FERRO, C. S. R. 2006. Geologia, dissolução de rochas quartzíticas e formas cársticas na bacia do Ribeirão Santana (MG/RJ), Atas do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia - Regional Conference on Geomorphology, Goiânia, CD_ROM.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R & SILVA, J.X. – 1965 – “Considerações a respeito da evolução das vertentes”, *Boletim Paranaense de Geografia*, Paraná, (16 -17), pp.86 -116.
- COELHO NETTO, A. L. 1999 –“Catastrophic Landscape Evolution in a Humid Region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and use induced changes”, *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Supp.III, Tomo 3:21 – 48.
- COELHO NETTO, A. L. 2003 –“Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale de Rio Paraíba do Sul (RJ/SP): Bases para um Modelo de Formação e Crescimento de Rede de Canais sob Controle Estrutural”, *Revista Brás. de Geomorfologia*, (4)2, pp.69 – 100.
- FEITOSA, F.A.C & Manoel Filho, J. (2000) “Hidrogeologia – conceitos e aplicações”, 2a ed., Ed. CPRM, Fortaleza, 391 p.
- FETTER, C.W. (1993) “Contaminant Hydrogeology”, Macmillian Publishing Company, New York, 687 p.
- FOLK R.L. & WARD W.C. 1957. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27:3-26.
- HEILBRON, M, et alli. 2002. Carta geológica da folha Rio Preto, UERJ, Rio de Janeiro, 2002.
- HEILBRON, M. DUARTE, B.P.; VALLADARES, C.S.; NOGUEIRA, J.R.; Tupinambá, M.; Eirado, L.G. 2003. Síntese Geológica do Bloco Oriental

- (Zona da Mata) In: Projeto Sul de Minas – etapa I. COMIG/UFGM/UFRJ/UERJ. CD ROM
- LUNA, A.S. (2003) “Química analítica ambiental”, Ed. UERJ, Rio de Janeiro, 1a ed., 162 p.
- MOURA, J.R. S & MEIS, M.R.M. 1986 – Contribuição a estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do Sul – Bananal, SP. Anais, Acad. Brás. de Ciências, Rio de Janeiro, 58:89 – 102.
- MULER, G., (1967) Methods in sedimentary petrology. Hafner, New York.
- NUMMER, A. R. 1992. Análise Estrutural e Estratigráfica do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca- Lima Duarte, sul de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado-IG/UFRJ (inédito). 191p.
- RUMP., H.H. (1999) “Laboratory manual for examination of water, waste water and soil”, John Wiley & Sons-VCH, Weinheim, Germany, 3th. ed., 225 p.
- SILVA, S.M. 2004. Carstificação em Rochas Siliciclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, 142p.
- STRAHLER, A. N. 1952. Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography. Geol. Soc. Am Bull 63: 1117-1141
- TUNDISI, J.G (2003) “Água no século XXI: enfrentando a escassez”, Ed. Rima, São Carlos (SP), 247 p.
- TUCCI, C.E.M (1993) – “Hidrologia: ciência e aplicação”, Ed. da UFRGS, 943 p.
- UAGODA, R.; AVELAR, A.; COELHO NETTO, A.L. 2006. contribution to carstic geomorphology in quartzitic rocks: mid preto river valley, Rio de Janeiro/Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA 6 / REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY.
- UAGODA, R.; AVELAR, A.; COELHO NETTO, A.L. 2006. Depressões fechadas em relevo quartzito-quartzítico, bacia do ribeirão Santana, médio vale do rio Paraíba do Sul. Anuário do Instituto de Geociências, 29(2): 85-98.